

Application Note

LDO の熱インピーダンスの in-situ 測定方法

Maxwell Robertson

LP Linear Regulators

概要

このドキュメントでは、IC のサーマル シャットダウン温度を使用して、接合部から周囲への熱インピーダンスを計算する手順について説明します。

目次

1 はじめに.....	2
2 手順.....	2
3 まとめ.....	3
4 改訂履歴.....	4

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

デバイスの接合部から周囲への熱インピーダンス ($R_{\theta JA}$) は業界標準の放熱性能指標です。これは、デバイスが消費する電力とそれによって生じる温度上昇レベルとの間に成り立つ線形関係を定義します。所定の動作周囲温度について、この熱インピーダンスを用いることで、デバイスの接合部温度をデバイスの消費電力に応じて判定できます。そのため、熱インピーダンスは、堅牢なシステムを設計する際には、把握しておくべき重要なパラメータです。

残念ながら、デバイスの熱インピーダンスは、データシートを参照するだけで済むものではありません。半導体メーカーは通常、熱インピーダンス値を提供していますが、この値は業界標準のテスト基板で実施した測定結果に基づいています。デバイスの放熱性能は、デバイスが設置される回路基板の特性に大きく依存するため、データシートに記載されている熱インピーダンス仕様がどの基板設計でも有効であるとは限りません。アプリケーション基板に搭載されているデバイスの熱インピーダンスを判定する最良の方法は、実際に測定することです。

このアプリケーションレポートでは、低ドロップアウトリニアレギュレータ (LDO) の放熱性能評価を主に説明していますが、ここで説明する手順は、消費電力を制御できるすべてのデバイスに適用できます。LDO を例として選択したのは、電力計算が容易であることに加え、その特性上、各設計で熱特性を考慮する必要があるためです。

2 手順

このセクションでは、回路基板に搭載された LDO レギュレータの接合部から周囲への熱インピーダンスを判定する簡単な方法を示します。この方法では、LDO にサーマルシャットダウン機能が装備されている必要があることに注意してください。この機能は常に存在するとは限らないため、続行する前に、対象のデバイスのデータシートをチェックすることが非常に重要です。この方法では、何らかの方法で周囲温度 (T_A) とデバイスで消費される電力 (P_D) をレギュレートする必要もあります。

デバイスの接合部温度 (T_J) は次の式で求められます。

$$T_J = T_A + R_{\theta JA} \times P_D \quad (1)$$

この式を使用して $R_{\theta JA}$ を決定するには、他のすべてのパラメータ (T_A 、 P_D 、 T_J) が既知である必要があります。温度計を使用すると周囲温度を簡単に測定できます。また、LDO で消費される電力を簡単に計算できます。ただし、接合部温度を直接測定することはできません。

接合部温度を測定できないため、式から除外する必要があります。この場合、デバイスのサーマルシャットダウン温度 (T_{SD}) を使用します。サーマルシャットダウンを引き起こす動作条件を二組選択することで、デバイスの熱インピーダンスを判定できます。この場合、可変の動作条件は消費電力と周囲温度です。

まず、利便性の高い消費電力レベルを選択します。LDO の場合、これは次の式で求めることができます

$$P_D = (V_{in} - V_{out}) \times I_{out} + V_{in} \times I_q \quad (2)$$

LDO の静止電流 (I_q 、別名グラウンド電流) は通常、電力計算では無視できるほど小さい値です。消費電力は、入力電圧、出力電圧、出力電流によって簡単に変化します。

次に、サーマルシャットダウンに達するまで周囲温度をインクリメントします。これは通常、内部のパス素子がオフになり、LDO の出力電圧が 0V に近づくことを意味します。この状態では、LDO は電力を消費せず、再びオンになるほど接合部温度が低下する場合があります。オン状態とオフ状態を切り替える可能性があるため、オシロスコープで出力電圧と時間の関係を監視し、サーマルシャットダウンを検出するのが最適な方法です。また、温度は一般的にゆっくりと変化することに注意してください。周囲の設定点をインクリメントした後、熱平衡に達するまで十分な時間を確保してください。サーマルシャットダウンに達した後、デバイスが温度を下げて、正常に動作していることを確認します。

別の消費電力レベルを選択して上記の手順を繰り返し、デバイスのシャットダウンに必要な新しい周囲温度レベルを求めます。二組の動作条件が判明すると、以下の方法を使用して熱インピーダンスを計算できるようになります。

$$\begin{aligned} \text{First measurement: } T_J' &= T_A' + R_{\theta JA} \times P_D' \\ \text{Second measurement: } T_J'' &= T_A'' + R_{\theta JA} \times P_D'' \end{aligned} \quad (3)$$

どちらの条件でもサーマルシャットダウンに達したので、次の等式が成り立ちます。

$$T_J' = T_J'' = T_{SD} \quad (4)$$

したがって、次のようになります。

$$T_A' + R_{\theta JA} \times P_D' = T_A'' + R_{\theta JA} \times P_D'' \quad (5)$$

この式を書き換えることで、熱インピーダンスを定義できます。

$$R_{\theta JA} = \frac{T_A' - T_A''}{P_D'' - P_D'} \quad (6)$$

この手順に従う場合は、次の点に注意してください。

- 多くの場合、初期消費電力を **0W** にすることで、計算を簡素化できます。これにより、デバイスのシャットダウン温度も測定できます。
- デバイスは、 T_A' または T_A'' への加熱に進む前に、初期開始温度で熱平衡状態に達する必要があります。テキサスインスツルメンツの評価基板などの小型 **PCB** の場合、初期温度および負荷で **30** 分間のドウェル時間を推奨します。ボードやシステムが大型になると、ドウェル時間が長くなる可能性があります。
- テスト対象の基板の熱時定数を十分下回る速度で周囲温度を上げます。たとえば、テキサスインスツルメンツは自社の **EVM** を社内で約 **1°C/分** の速度で上げています。計算をより正確にするため、シャットダウン温度を少なくとも **0.1°C** の分解能で記録します。
- 電流制限などのデバイスの機能により、実際の消費電力は必要な値よりも低くなる可能性があるため、入力電圧、出力電圧、出力電流を測定することで消費電力を再確認することを推奨します。
- 熱インピーダンスは、デバイス上のエアフローによっても大きく変化します。控えめに測定する場合、テスト時のエアフローが、通常動作時の予測エアフローよりも小さいことを確認してください。

3 まとめ

デバイスの熱的挙動はアプリケーション基板の特性に依存するため、すべての設計で熱挙動を予測するために、データシートの熱インピーダンスの仕様では不十分です。幸い、アプリケーション基板に搭載されたデバイスの熱インピーダンスを簡単に測定する方法があります。このドキュメントに記載されている方法に従うことで、エンジニアはさまざまな動作条件でのデバイスの接合部温度を正確に判定できます。

4 改訂履歴

Changes from Revision * (July 2010) to Revision A (May 2025)	Page
• ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新.....	1
• 測定手順を明確にするための更新された手順ピック.....	2

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適したテキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、ます。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されているテキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated